

磨粒图像自动拼接与预处理技术研究

江良洲, 龙凤

(第二炮兵工程学院 装备管理工程系, 陕西 西安 710025)

摘要:磨粒图像拼接是铁谱分析技术中遇到的难题之一。为了解决该问题,介绍了图像拼接的原理,分析了磨粒图像拼接的特点。在介绍了各种图像拼接方法优缺点的基础上,分析了适合于磨粒图像的拼接方法,并提出了改进算法,综合考虑了算法的速度和算法效果,给出了实现方法与途径。实验结果表明,其中基于比值的方法程序实现容易,速度快;基于图像相关性的配准方法稳定可靠,加上基于直方图的模版自适应选取,提高了磨粒拼接的自动化程度。

关键词:图像拼接;图像预处理;铁谱技术;磨粒

中图分类号:TP391.41;TH117.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)10-0250-04

Wear Particle Image Mosaicing and Preprocessing Technique Research for Ferrography

JIANG Liang-zhou, LONG Feng

(Department of Equipment Management Engineering, Second Artillery
Engineering Institute, Xi'an 710025, China)

Abstract:Wear particle image mosaicing is important for ferrography. In order to solve this problem, mosaicing theory and wear particle image characteristic is introduced. Analyze the mosaicing methods and present the improved algorithm based on advantage and disadvantage in image mosaicing methods. Considering the balance between algorithm speed and effect, mosaicing methods and its realizing steps for wear particle images are presented. Experimental results show that, the method based on the ratio between different pixels in images is easy and fast for computer processing, while the method based on image relativity is steady and reliable. Using histogram, template automatic selecting for wear particle image mosaicing is realized.

Key words:image mosaicing; image preprocessing; ferrography; wear particle

0 引言

铁谱技术作为机械设备的一种有效的状态监测方法,是油液分析技术中的主要方法之一^[1,2]。目前已在许多领域得到了应用,对于大型设备的预防性维修与管理具有重要意义,并取得了一定的经济效益。在铁路内燃机车、矿山机械及船用柴油机等重型设备的使用、维修和日常管理中得到了一定程度的推广^[3,4]。该技术的原理是利用铁谱仪的高梯度强磁场和重力场,从设备润滑系统或液压系统内抽取的油样中分离出磨损颗粒,借助显微镜等不同仪器观察这些磨损颗粒,利用计算机等技术手段检验分析这些磨粒的形状、大小、数量、颜色、纹理、成分和分布等特征属性,判断设备的运转状况和关键零部件摩擦的磨损状态^[5]。

然而,在用显微镜观测、采集、分析谱片上的磨粒时,特别是用计算机进行特征提取和自动识别的过程中,采用传统的观测方式和图像分析方法经常遇到如下问题:

①在小倍数物镜下,由于视场范围较大,所采集到的图像磨粒较小,这时所采集到的图像,会损失大量的边界信息和纹理信息,对以后的分析诊断不利;

②在显微镜有限视场范围内,特别是在40或60大倍数物镜下,由于某些谱片上的磨粒较大,一个视场中往往不能对其进行完整观察,因而难以进行测量和特征提取,从而导致后续磨粒分割与识别的困难;

③有时为了能够观察磨粒在谱片上的整体分布,根据大小磨粒在内外圈的排列情况,判断铁磁性与非铁磁性磨粒,获得覆盖整个谱片上所有磨粒的一幅大的图像,也需要将采集到的多幅磨粒图像拼接到一起,从而对磨粒有一个整体的全景图像。

因此,针对磨粒图像特点,研究适合磨粒图像拼接的方法十分必要。

收稿日期:2010-01-08;修回日期:2010-04-15

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60672108)

作者简介:江良洲(1983-),男,博士,从事设备故障诊断与装备管理方面的学习研究。

1 图像拼接与配准原理

实现图像拼接的基本条件,是相邻序列图像之间各有一部分反映了同一场景的目标景观,即该部分像素间的相位关系相同^[6]。如果相邻两幅图像之间同一场景目标中像素间的坐标关系能够确定,则通过一定的变换算法,图像的拼接即可实现^[7-10]。

假定 Image1 和 Image2 为两待拼接图像,则 Image1 和 Image2 在空间上关于像素灰度值的一种映射可被定义为图像的拼接。在数字图像处理过程中,将图像定义成两个确定的二维矩阵 I_1 和 I_2 ,则 $I_1(x, y)$ 与 $I_2(x, y)$ 分别代表各自在坐标系中 (x, y) 点处的灰度值,又设 $f(x, y)$ 为映射二维坐标 x 和 y 到对应的二维坐标 x' 和 y' 的一个变换函数,即:

$$(x', y') = f(x, y) \quad (1)$$

再设 g 是一维灰度值的某种变换,则可将两相邻图像灰度值之间的映射关系表示为:

$$I_2(x, y) = g(I_1(f(x, y))) \quad (2)$$

由此可见,寻找图像间像素灰度值的变换是图像拼接问题的关键,解决此问题方能进行图像间的配准与拼接。而确定其变换中的参数是该几何变换的关键,设函数 f 可表示为两个单值函数 f_x 、 f_y 的参数化表示,则

$$I_2(x, y) = I_1(f_x(x, y), f_y(x, y)) \quad (3)$$

以上所述是一种理想化的假设,在实际应用中,由于光照、感光器件的稳定性条件等的变化,同一场景区域在相邻图像中往往存在亮度原因引起的灰度差。因此只能寻找某种最佳逼近值算法,来确定最佳相似变换,从而达到最佳匹配定位,进行拼接技术处理,达到图像拼接之目的。

给定参与拼接的两幅图像,要寻找两相邻图像的最佳相似变换,实际上是转换成求解如下表达式的极大似然解:

$$\min(\sum \iint [I_1(x, y) - I_2(f_x(x, y), f_y(x, y))]^2 dx dy) \quad (4)$$

在数字图像处理中,给定的一组待处理图像是离散的数字矩阵,因此实际是用重叠区域中的所有像素灰度差的总和值来代替上述积分和,即为:

$$\min(\sum_i [I_1(x_i, y_i) - I_2(f_x(x_i, y_i), f_y(x_i, y_i))]^2) \quad (5)$$

该式的实质即寻找差的平方和的最小值,所以图像拼接的本质就是非线性最小二乘问题。

2 磨粒图像的拼接与配准

显微镜同一放大倍数下采集到的磨粒图像基本不

发生旋转或缩放,所以对于要拼接的两幅磨粒图像来说,图像匹配仅限于二者间空间的平移,不存在几何形变,只需要把从同一谱片上且同一放大倍数下采集得到的一组图像在空间上进行对准,以确定它们之间的相对平移即可^[11],因此,磨粒图像拼接主要指图像配准,另外包括其后的融合。

磨粒图像拼接过程一般分为四个步骤:

- (1) 拍摄获取连续的图像序列;
- (2) 对图像进行格式转换、除噪、增强等拼接前的预处理;
- (3) 对图像进行配准对齐;
- (4) 图像的拼接融合,消除对齐后图像灰度的不连续和缝隙。

2.1 磨粒图像拼接预处理

通过各种图像获取装置采集的图像均存在不同程度的噪声和干扰,去除这些干扰是磨粒图像拼接处理前的一项重要工作,图像预处理是通过计算机对采集和量化后的数字化铁谱图像信号进行处理,以增强图像上感兴趣的部分,磨粒图像拼接前的预处理主要包括图像的格式转换、去除噪声和干扰、增强模糊的图像边缘、二值化处理等,以便于后续铁谱磨粒图像的配准与拼接^[12]。

拼接前图像匹配特征的选择要根据待拼接图像的特点,选定的特征参数,要能够在拼接中取得计算效率和效果之间的平衡。同时,磨粒图像的定量分析需要采集大量的磨粒图像,即使一个基片上的磨粒要想能够全部拍摄下来需要采集的图像也是非常多的。因此,在不考虑图像几何畸变的情况下,取得算法效率和效果的平衡是磨粒图像拼接的基本特点与要求。

2.2 基于比值的配准方法基本原理

取两幅待拼接图像中前一幅图像的右半部间隔一定的 2 列上的部分像素,取其比值作为向量模板,在第 2 幅图像中的左半部由最左侧开始向右,以同样间隔依次取出部分像素,逐一计算其像素比值向量,然后将这些比值向量依次与模板向量进行比较,找出向量内各元素累计差值最小时所对应的列,就是最佳匹配。

具体做法是在第一幅图像的右边,以相隔 k 个像素(依图像特征取定值)距离的 2 列上取对应的两组数,同在中间某个位置取 m 个像素,计算其比值得到了一个浮点数组 $base[m]$,将它作为比较的模板向量。

$$\text{令 } a_n = \begin{Bmatrix} a_{1,n} \\ a_{2,n} \\ a_{3,n} \\ \vdots \\ a_{m,n} \end{Bmatrix}, a_{n+k} = \begin{Bmatrix} a_{1,n+k} \\ a_{2,n+k} \\ a_{3,n+k} \\ \vdots \\ a_{m,n+k} \end{Bmatrix} \text{ 分别为图像矩}$$

阵两个列向量中的部分像素,则:

$$\text{base}[m] = \begin{cases} a_{1,n}/a_{1,n+k} \\ a_{2,n}/a_{2,n+k} \\ a_{3,n}/a_{3,n+k} \\ \vdots \\ a_{m,n}/a_{m,n+k} \end{cases}$$

2.3 基于图像相关性的配准方法基本原理

假设一个大小为 $K \times L$ 的基准图 B 在大小为 $N \times M$ 的参考图 S 上平移搜索,基准图 B 覆盖下的被搜索图像称作参考图 S 的子图 $S^{i,j}$, i, j 为该子图左下角的像素点(称为起始点或参考点)在参考图中的坐标, i 和 j 的取值范围为: $1 \leq i \leq M - K + 1, 1 \leq j \leq N - L + 1$ 。

用如下范式来衡量基准图 B 和子图 $S^{i,j}$ 间的相似度:

$$D(i, j) = \sum_{m=1}^K \sum_{n=1}^L [S^{i,j}(m, n) - B(m, n)]^2 \quad (6)$$

展开上式有:

$$D(i, j) = \sum_{m=1}^K \sum_{n=1}^L [S^{i,j}(m, n)]^2 - 2 \sum_{m=1}^K \sum_{n=1}^L S^{i,j}(m, n) \cdot B(m, n) + \sum_{m=1}^K \sum_{n=1}^L [B(m, n)]^2 \quad (7)$$

分析式(7)各项可知,右边第三项反映的是基准图 B 的总能量,又选定的基准图决定,是常数;第一项是随 (i, j) 位置而改变的子图像的能量;中间项是子图 $S^{i,j}$ 与基准图 B 的互相关,也是随 (i, j) 位置不同而改变,且当两者匹配时取最大值,如此则可用下列归一化的相关函数作相似性测度:

$$R(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^K \sum_{n=1}^L S^{i,j}(m, n) \cdot B(m, n)}{\left(\sum_{m=1}^K \sum_{n=1}^L [S^{i,j}(m, n)]^2 \right)^{1/2} \left(\sum_{m=1}^K \sum_{n=1}^L [B(m, n)]^2 \right)^{1/2}} \quad (8)$$

式(8)即为基准图 B 与子图 $S^{i,j}$ 的相关系数。 $R(i, j)$ 在 0 和 1 之间取值。据相似性原理, $R(i, j)$ 值越大二者越接近;当 $R(i, j)$ 取最大值时的像素点 (i, j) 即为正确的匹配位置。这就是用最大相似性准则来进行模板匹配的基本原理。

3 磨粒图像拼接实验及改进

3.1 基于比值方法中模板的自动选择

如何选择得到特征明显的两列像素,是该方法成功与否的关键。具体采用的实现方法是:先扫描第一幅图像的右半部分,分别计算得到每隔 k 列像素的两

列向量中间 m 个元素的比值向量,然后对该比值向量的各个元素求和得到一个数值,取对应该数值最大时对应的两列向量,将其比值矩阵作为最终的模板来匹配。其依据是此时的两列像素间差异最大,信息量最为丰富。

通过该方法进行大量的试验以及对试验结果的详细分析,得出以下特点:

1) 算法简单,实现容易,速度较快;

2) 对于特征目标不是很明显、灰度变化很小的两幅磨粒图像有时容易造成误匹配。

3.2 基于图像相关性方法中的基准图自适应选取

该算法在执行过程中的关键是模板的选取,一方面因为模板必须有足够的信息量,否则配准将失败;另一方面,为了实现拼接过程的自动化,内在要求寻找一种能快速依靠程序执行的模板搜寻方式,因此模板的快速自动选取是该算法的关键。

模板的选取可以结合磨粒的结构特征,如磨粒的轮廓、纹理等信息来进行,但这些信息很难用数学的方式直观便捷地表示并计算出来。而图像的灰度直方图是图像的统计特性,反映了一幅图像中不同灰度值像素面积在该图像中的占比,是图像的基本信息之一。在图像拼接中,如果图像中某一定区域面积的直方图方差越大,则该区域中像素灰度值越分散,出现特征明显的边缘区域的概率就越大。该方法程序实现容易,图形表示直观,因此,如果一个在两幅图像重叠区内的某一局部区域,其灰度直方图的方差最大,则该区域所包括的信息最为丰富,特征最为明显,也就是比较理想的基准图位置。

如图 1 所示,左右两幅图像为待拼接的磨粒图像,中间上下两幅图像为左图中上下两个局部区域的直方图。由图像直观可知,显然上面方框区域的特征比较明显,其对应的区域信息比下面区域丰富,可以作为理想的基准图,计算所得的方差证明了这个结论。

对不采用基准图自适应选取的匹配和自适应方法各自进行了对比实验,并通过改变基准图和参考图的大小尺寸以及图像灰度变化,不同显微镜分辨率来验证算法的可靠性,实验结果如图 2 所示(基准图为 20×20 ,参考图为 640×480)。

该实验对 6 对磨粒图像进行了算法时间的统计,其中基准图的选取由于算法简单,程序执行简单,耗时很少;匹配时间主要取决于图像的大小和重叠区域的错位情况;匹配结束后的拼接速度很快,一般只需要数十个毫秒。因此,基准图自适应选取在对匹配拼接的速度无太大影响的情况下,提高了匹配精度和自适应性。

4 结束语

两种配准方法均能有效拼接磨粒图像,其中,基于比值方法原理简单,实现容易,速度快;基于图像相关

性配准方法稳定可靠,加上基于直方图的模版自动选取,自动化程度也相应提高,适应了磨粒分析的发展趋势,将有助于减少磨粒分析中人工干预带来的影响。

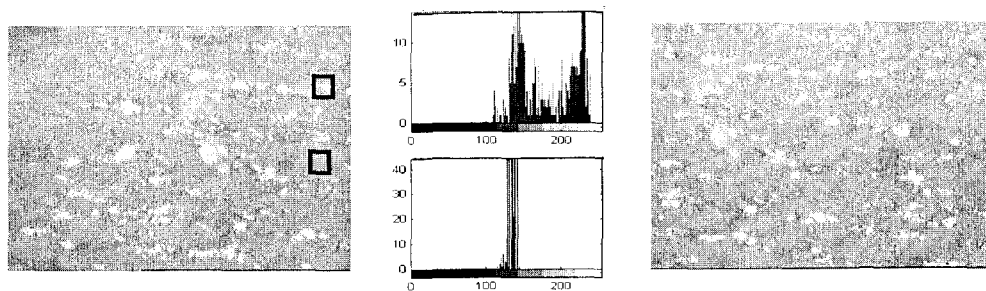


图1 待拼接的左右两幅图像及左图像中的两个子区及其对应的直方图

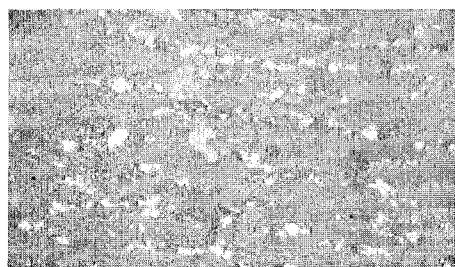


图2 拼接实验结果

参考文献:

- [1] Fitch J C. Oil Analysis for Maintenance Professionals[M]. [s. l.]:Noria Corporation, 1998.
- [2] Seifert W W, Westcott V C. A Method for the Study of Wear Particles in Lubricating Oil[J]. Wear, 1972, 21: 22 - 42.
- [3] 萧汉梁. 铁谱技术及其在机械监测诊断中的应用[M]. 武汉:人民交通出版社, 1993:113 - 135.
- [4] 周仲荣, 雷源忠, 张嗣伟. 摩擦学发展前沿[M]. 北京:科学出版社, 2006.
- [5] 王汉功, 陈桂明. 铁谱图像处理与识别技术[M]. 北京:科学出版社, 2005.
- [6] 解凯, 郭恒业, 张田文. 图像 Mosaics 综述[J]. 电子学报, 2004, 32(4): 630 - 634.
- [7] Brown M, Lowe D G. Invariant Features from Interest Point Groups[C] // British Machine Vision Conference. Cardiff, Wales: [s. n.], 2002: 656 - 665.
- [8] Lowe D G. Distinctive image features from scale - invariant key points[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 40(2): 90 - 110.
- [9] 蔡丽欢, 廖英豪, 郭东辉. 图像拼接方法及其关键技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 1 - 4.
- [10] 侯顺风, 张佑生, 江涛. 块拼接纹理合成算法在图像拼接中的应用[J]. 计算机技术与发展, 2007, 17(7): 247 - 249.
- [11] 陈果, 左洪福. 显微图像的一种快速拼接算法[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(4): 343 - 347.
- [12] 沈庭芝, 方子文. 数字图像处理及模式识别[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2000.

2010 CCF 中国计算机大会

2010 年 10 月 11~12 日·杭州

2010 CCF 中国计算机大会(2010 CCF China National Computer Conference, CCF CNCC2010)将于 2010 年 10 月 11~12 日在杭州举行。

CCF CNCC 是由中国计算机学会(CCF)2003 年创建的一个系列性会议,每年举办一次。

CCF CNCC 旨在探讨计算机及相关领域最新进展和宏观发展趋势,展示中国学术界、企业界最重要的学术、技术事件和成果,使不同领域的专业人士能够获得探讨的机会并获得所需信息。

本次大会将有逾 1000 人参加,他们来自科技界、教育界、经济界、金融界、政界和新闻界。

会议组织者将邀请来自海内外资深的学术专家、战略家和企业家对当前的技术和应用状况进行分析并提出独到的观点。

本次大会特别安排了 100 个 IT 科学技术成果展览展示。

CNCC 还将邀请全体参会者参加盛大的晚宴和颁奖会,CCF 著名的王选奖、海外杰出贡献奖将在会上颁发。

每年一度的 CCF 理事大会也将在大会期间举行。